

**О.В. БЕРЕЗЮК**, канд. техн. наук, доц., ВНТУ, м. Вінниця

## **ДОСЛІДЖЕННЯ КІНЕМАТИКИ ПРИСТРОЮ ДЛЯ СОРТУВАННЯ ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ**

Запропоновані аналітичні залежності основних кінематичних і геометричних параметрів облаштування для сортування пружних складових твердих побутових відходів. Отримані раціональні значення основних кінематичних і геометричних параметрів облаштування для сортування пружних складових твердих побутових відходів.

Offered analytical dependencies main cinematic and geometric parameters of device for sorting springy forming hard domestic waste. Received rational importances main cinematic and geometric parameters of device for sorting springy forming hard domestic waste.

**Постановка проблеми.** Статистика свідчить, що об'єм твердих побутових відходів (ТПВ), що утворюються в Україні перевищує 46 млн. м<sup>3</sup>/рік [1]. Одним із перспективних шляхів поводження з ТПВ є їх переробка, яка поки що не знайшла широкого використання в нашій країні, на відміну від економічно розвинутих країн, де перероблюється до 42 % відходів [2]. При нероздільному збиранні ТПВ їхні компоненти, як правило, не сортуються перед переробкою. Сортування складових ТПВ дозволить заощаджувати сировинні ресурси, не збільшувати площу земельних ділянок під полігони та сміттєзвалища, а також сприятиме оздоровленню довкілля. Тому дослідження, спрямовані на удосконалення процесу сортування ТПВ, мають велике значення для комунального господарства і є актуальною науково-технічною задачею.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Автором [3] розроблено пристрій для сортування пружних складових ТПВ, проведені дослідження процесу їх сортування, а також визначено раціональні значення параметрів сортувального пристрою: висоту падіння відходів – 1,1...1,2 м; кут нахилу металевої плити – 40°...50°; швидкість руху транспортера – 0,1...0,2 м/с. Недоліком даного пристрою є те, що він дозволяє лише відсортовувати пружні складові ТПВ від пластичних. В свою чергу, пружні складові ТПВ такі, як деревина, метали, кістки, скло тощо мають різні фізичні властивості, що дозволяє, на нашу думку, сортувати пружні складові ТПВ на однорідні компоненти.

**Основна частина.** Розрахункова схема сортування ТПВ показана на рис. 1. Відходи падають з висоти  $h_1$  на похилу металеву плиту з початковою горизонтальною швидкістю  $v_0$  транспортерної стрічки. Автором [3] встановлено, що значення координати центра ваги металевієї плити в залежності від висоти падіння відходів і швидкості транспортера істотно впливає на ефективність сортування і може бути розраховане за допомогою рівняння траєкторії падіння відходів на металеву плиту

$$x_1 = v_0 \sqrt{2h_1/g} . \quad (1)$$

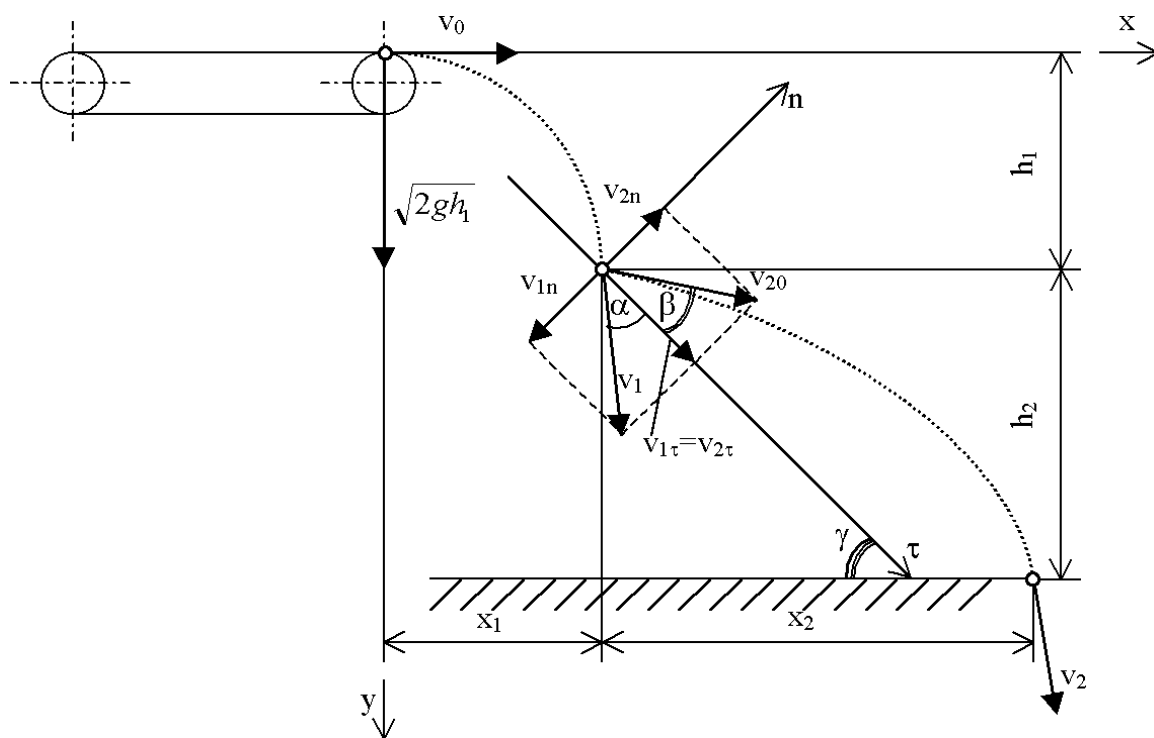


Рис. 1. Розрахункова схема сортування ТПВ

Як відомо, з ростом значення швидкості  $v_0$  транспортера знижується ефективність сортування. Значення сили удару діючої з боку металевієї плити на пружні складові відходів, а також довжини відскоків ТПВ після зіткнення залежать від швидкості падіння пружних складових відходів.

В момент падіння на металеву плиту доударну швидкість відходів можна визначити за формулою

$$v_1 = \sqrt{v_0^2 + 2gh_1}. \quad (2)$$

Із розрахункової схеми сортування ТПВ (див. рис. 1) можна одержати такі рівняння:

$$\begin{cases} v_{1\tau} = v_1 \cos \alpha; \\ v_{1n} = v_1 \sin \alpha, \end{cases} \quad (3)$$

де  $v_{1\tau}$  і  $v_{1n}$  – дотична і нормальна складові доударної швидкості, м/с;  $\alpha$  – кут падіння ТПВ відносно плити, °.

Після удару об металеву плиту, пружні компоненти ТПВ відскакують від неї зі швидкістю, складові якої можна визначити з наступних рівнянь:

$$\begin{cases} v_{2\tau} = v_{1\tau} = v_1 \cos \alpha; \\ v_{2n} = kv_{1n} = kv_1 \sin \alpha, \end{cases} \quad (4)$$

де  $k$  – коефіцієнт відновлення.

Відомо, що коефіцієнт відновлення суттєво залежить від матеріалу тіл, які співударяються. На основі даних автора [4] значення коефіцієнтів відновлення для деяких пружних компонентів ТПВ наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Значення коефіцієнтів відновлення для деяких пружних компонентів ТПВ

Матеріал	дерево	метал	кістки	скло
Коефіцієнт відновлення, $k$	1/2	5/9	8/9	15/16

Кут падіння  $\alpha$  та відскоку  $\beta$  ТПВ відносно плити можна визначити за формулами:

$$\alpha = \arctg \frac{\sqrt{2gh_1} - v_0 \operatorname{tg} \gamma}{v_0 + \sqrt{2gh_1} \operatorname{tg} \gamma}; \quad (5)$$

$$\beta = \arctg \frac{k(\sqrt{2gh_1} - v_0 \tg \gamma)}{v_0 + \sqrt{2gh_1} \tg \gamma}, \quad (6)$$

де  $\gamma$  – кут нахилу металевої плити,  $^\circ$ .

Початкову швидкість відскоку пружних складових ТПВ можна знайти за допомогою виразу

$$v_{20} = \sqrt{k^2(v_0^2 + 2gh_1) - (1 - k^2)(v_0 \cos \gamma + \sqrt{2gh_1} \sin \gamma)^2}. \quad (7)$$

Після відскоку від металевої плити, пружні компоненти ТПВ рухаються зі швидкістю, складові якої можна визначити з наступних рівнянь:

$$\begin{cases} v_x = v_{20} \cos(\gamma - \beta); \\ v_y = v_{20} \sin(\gamma - \beta) + gt_2. \end{cases} \quad (8)$$

Після інтегрування рівнянь (8) координати пружних складових ТПВ після відскоку від металевої плити можуть бути описані системою рівнянь:

$$\begin{cases} x_2 = v_{20}t \cos(\gamma - \beta); \\ h_2 = v_{20}t \sin(\gamma - \beta) + \frac{gt^2}{2}. \end{cases} \quad (9)$$

Виключивши час  $t$ , визначимо швидкість пружних складових ТПВ в момент їх падіння в багатосекційний контейнер:

$$v_2 = \sqrt{v_{20}^2 + 2gx_2 \tg(\gamma - \beta) + \frac{g^2 x_2^2}{v_{20}^2 \cos^2(\gamma - \beta)}}. \quad (10)$$

Виключивши час  $t$ , визначимо рівняння траєкторії пружних складових ТПВ після відскоку від металевої плити

$$h_2 = x_2 \tg(\gamma - \beta) + \frac{gx_2^2}{2v_{20}^2 \cos^2(\gamma - \beta)}, \quad (11)$$

де  $x_2, h_2$  – довжина та висота відскоку пружних складових ТПВ, м.

Звідки можна визначити довжину відскоку пружних складових ТПВ від металевої плити

$$x_2 = \frac{v_{20}^2 \sin[2(\gamma - \beta)]}{2g} \left( \sqrt{1 + \frac{2h_2 g}{v_{20}^2 \sin^2(\gamma - \beta)}} - 1 \right). \quad (12)$$

Кут падіння  $\delta$  пружних складових ТПВ у контейнер можна визначити за формулою

$$\delta = \arctg \left( \operatorname{tg}(\gamma - \beta) + \frac{gx_2}{v_{20}^2 \cos^2(\gamma - \beta)} \right). \quad (13)$$

Сумарна довжина відскоку пружних складових ТПВ складатиме

$$x = x_1 + x_2. \quad (14)$$

З аналізу виразів (6), (7), (12) випливає, що довжина відскоку пружних складових ТПВ залежить в основному від висот падіння ( $h_1, h_2$ ), швидкості транспортера ( $v_0$ ), кута нахилу металевої плити ( $\gamma$ ), а також матеріалу пружних складових ТПВ (завдяки коефіцієнту відновлення ( $k$ )).

На рис. 2 показано траєкторії різних пружних складових ТПВ під час їх сортування.

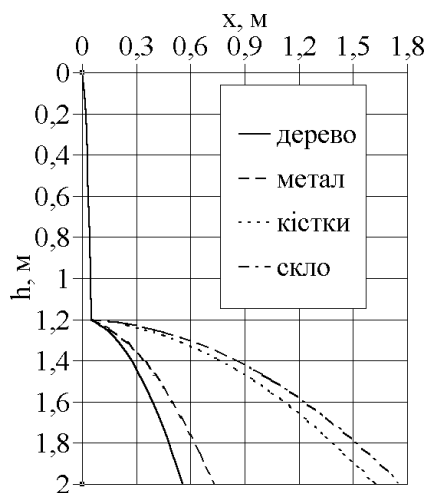


Рис. 2. Траєкторії різних пружних складових ТПВ під час їх сортування

В табл. 2 наведені кінематичні показники пристрою сортування, розраховані за допомогою ЕОМ із використанням вихідних даних:  $v_0 = 0,1$  м/с;  $\gamma = 45^\circ$ ;  $h_1 = 1,2$  м;  $h_2 = 0,8$  м для таких пружних складових ТПВ, як дерево, метал, кістки, скло.

Як видно із табл. 2, сумарні довжини відскоків пружних складових ТПВ суттєво залежать від їх матеріалу, що може бути використано для сортування

цих складових у багатосекційний контейнер, довжину секцій якого  $l_i$  можна визначити за формулами:

$$l_1 = x_{2,2} - x_{2,1} + h_3(ctg\delta_1 - ctg\delta_2); \quad (15)$$

$$l_i = \frac{x_{2,i+1} - x_{2,i-1} + h_3(ctg\delta_{i-1} - ctg\delta_{i+1})}{2}; \quad (16)$$

$$l_n = x_{2,n} - x_{2,n-1} + h_3(ctg\delta_{n-1} - ctg\delta_n), \quad (17)$$

де  $i$  – номер за порядком пружних складових ТПВ (див. табл. 2)  $i > 1 \cup \cup i < n$ ;  $n$  – кількість видів пружних складових ТПВ;  $h_3$  – висота багатосекційного контейнера.

Таблиця 2

Кінематичні показники пристрою сортування для різних пружних складових ТПВ

Номер за порядком	Матеріал	$\beta, ^\circ$	$v_{20}, \text{м/с}$	$v_2, \text{м/с}$	$x_2, \text{м}$	$x, \text{м}$	$\delta, ^\circ$
1	дерево	25,65	1,516	4,240	0,509	0,559	70,29
2	метал	28,08	2,036	4,453	0,678	0,728	64,05
3	кістки	40,49	4,230	5,794	1,567	1,617	43,30
4	скло	42,00	4,505	5,998	1,713	1,763	41,40

Багатосекційний контейнер повинен розташовуватись на такій відстані  $l_0$  від вертикальної осі ведучого барабану стрічки верхнього транспортера

$$l_0 = x_1 + 1,5x_{2,1} - 0,5x_{2,2} - h_3ctg\delta_1. \quad (18)$$

Отримані залежності можуть бути використані під час проведення проектних розрахунків нових конструкцій пристроїв для сортування пружних складових ТПВ.

Геометричні розміри та положення багатосекційного контейнера під час сортування пружних складових ТПВ показано на рис. 3.

За даними, наведеними в табл. 2, величини, розраховані за залежностями (15) – (18), складають:  $l_0 = 0,456$  м,  $l_1 = 0,163$  м,  $l_2 = 0,511$  м,  $l_3 = 0,501$  м,  $l_4 = 0,142$  м.

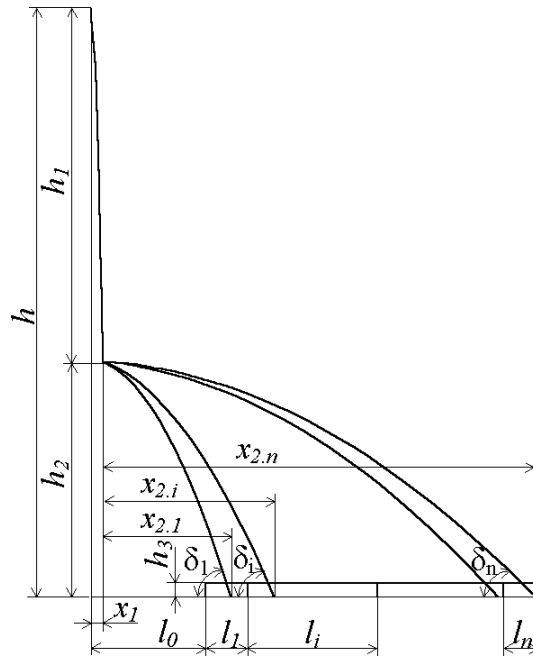


Рис. 3. Геометричні розміри та положення багатосекційного контейнера під час сортування пружних складових ТПВ

### Висновки.

Запропоновано аналітичні залежності основних кінематичних та геометричних параметрів пристрою для сортування пружних складових твердих побутових відходів у багатосекційний контейнер, що можуть бути використаними під час проведення проектних розрахунків його нових конструкцій.

Отримано раціональні значення основних кінематичних та геометричних параметрів пристрою для сортування пружних складових твердих побутових відходів із використанням багатосекційного контейнера, які дозволяють забезпечити високі показники процесу сортування пружних складових твердих побутових відходів.

**Список літератури:** 1. Портал України з поводження з твердими побутовими відходами. – Режим доступу: <http://www.ukrwaste.com.ua>. 2. Орлова Т. А. Экологическая оценка земельных участков, занятых объектами отходов / Т. А. Орлова // Містобудування та територіальне планування. – 2006. – Вип. 25. – С. 167 – 181. 3. Ханкелов Т. К. Разработка и обоснование рациональных параметров устройства для сортировки твердых бытовых отходов: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук / Т. К. Ханкелов. – Ташкент, 2006. – 24 с. 4. Кузмичёв В. Е. Законы и формулы физики / В. Е. Кузмичёв. – К.: Наук. думка, 1989. – 864 с.

Надійшла до редколегії 14.06.10